

and prospects in space geodesy applications // Journ. of Geodesique. – 1998. – № 72. – P. 161–178.

9. *Boehm J., Niell A., Tregoning P., Schuh H.* A Global Mapping Function (GMF): a new empirical mapping function based on numerical weather model data // Geophys. Research Letters. – 2006. – № 33 (7). L07304.

10. *Bruinsma S., Thuillier G., Barlier F.* The DTM-2000 empirical thermosphere model with new data assimilation and constraints at lower boundary: accuracy and properties // Journ. of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. – 2003. – № 65 (9). – P. 1053–1070. doi: 10.1016/S1364-6826(03)00137-8.

11. *Goldinger H., Hoeck E., Rieser D., Mayer-Guert, Maier A., Krauss S., Pail R., Fecher T., Gruber T., Brockman J. M., Krasbutter I., Schuh W.-D., Jaegger A., Prange L., Hausleitner W., Baur O., Kusche I.* The combined satellite-only global gravity field model GOCO02S. Presented at the 2011 General Assembly of the European Geosciences Union, Vienna, Austria, April 4–8, 2011.

12. *Govind R., Lemoine F. G., Valette J. J., Chinn D., Zelensky N.* A DORIS determination of the absolute velocities of the Sorsdal and Mellor glaciers in Antarctica // Advances in space research. – 2010. – № 45. – P. 1523–1524.

13. *IERS Conventions, IERS Technical Note 36 / Eds.: G. Petit, B. Luzum.* Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2010. – 179 p.

14. *Niell A. E.* Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths // Journ. of Geophys. Research – 1996. – № 101 (B2). – P. 3227–3246.

15. *Ray R. D., Beckley B. D., Lemoine F. G.* Vertical crustal motion derived from satellite altimetry and tide gauges, and comparison with DORIS measurements // Advances in Space research. – 2010. – № 45 (12). – P. 1510–1522. doi:10.1016/j.asr.2010.02.020,2010.

14. *Willis P., Ries J.C., Zelensky N. P.* DPOD2005: An extension of ITRF2005 for Precise Orbit Determination // Advances in Space Research. – 2009. – № 44 (5). – P. 535–544. doi:10.1016/j.asr.2009.04.018,2009

15. *Willis P., Fagard H., Ferrage P., Lemoine F., Noll C., Noomen R., Otten M., Ries J., Rotacher M., Soudarin L., Tavernier G., Valette J.-J.* The International DORIS Service, First steps toward maturity // Advances in Space Research. – 2010. – № 45 (12). – P. 1408–1420. doi:10.1016/j.asr.2010.03.010.

#### Summary

A practical utilization of the DORIS system started in February 1990 with launching of the SPOT 2 satellite. During the last decades the role of DORIS system for geodetic measurements and for improvement of the Terrestrial coordinate frame increased significantly. Positioning accuracy of the DORIS system is in the limits of 8.2–12.7 mm for coordinates and 2.7–3.8 mm/y for velocities. Such a high accuracy permits to include DORIS data for the general solution of the new version of the ITRF 2013. Now DORIS is considered as a part of the Global Geodetic Observing System (GGOS) program, initiated by the International Association of Geodesy. ■

УДК 528.3

## Метод полевого трассирования охранных зон проектируемых ЛЭП относительно магнитных меридианов местного геомагнитного поля

©<sup>1</sup>Трофимов А. А., <sup>2</sup>Кравченко В. А., 2015

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»

<sup>1</sup>79219615535@yandex.ru

<sup>2</sup>vovin84@mail.ru

*Рассматривается возможность использования местного магнитного поля Земли при полевого трассировании линейных объектов в ходе выполнения инженерных изысканий. В частности, приводятся результаты полевого трассирования в Ленинградской области проектируемой ЛЭП 110 кВ с использованием местного магнитного азимута вместо дирекционного угла местной системы координат при определении направления продольных осей данного линейного объекта. Также выполняется оценка возможности использования для таких работ международной модели главного магнитного поля Земли IGRF-11 на основании полученных результатов.*

*Геодезическая буссоль, инженерные изыскания, магнитное поле Земли, местный магнитный азимут, режим RTK.*

*Geodetic surveying compass, engineering survey, magnetic field of the Earth, local magnetic azimuth, mode RTK.*

В ходе проектирования ЛЭП высокого класса напряжений (от 110 кВ и выше), проходящих преимущественно по лесным массивам, нередко возникает задача сверки соответствия нанесения охранной зоны ЛЭП на лесных планшетах масштаба 1 : 10 000 и данных каталога координат вершин углов поворота трассы, полученных также камеральным способом. При этом выполнение полевого трассирования с рубкой створа невозможно вследствие отсутствия договора аренды лесных участков под выполнение изысканий, в том числе и ввиду отсутствия утвержденной лесничествами трассы ЛЭП на лесных планшетах. Таким образом, по причине невозможности рубки визирок усложняется задача полевого трассирования трассы ЛЭП с использованием классического оборудования, требующего горизонтальной видимости (теодолиты, электронные тахеометры) в целях вышеуказанной сверки, в том числе и ввиду сжатости сроков на выполнение таких работ. Перед авторами статьи встала задача, как выполнить данную работу, не вредя окружающей среде. По опыту известно, что по линейным объектам часто бывают изменения трассы (особенно при прокладке ЛЭП), так как нужно учитывать не только территориальное, геологическое, гидрологическое и экологическое прохождение трассы, но и габариты над различными инженерными сооружениями. В данном случае также было необходимо сократить финансовые и временные издержки по составлению договора аренды на лесные участки. На выполнение данной

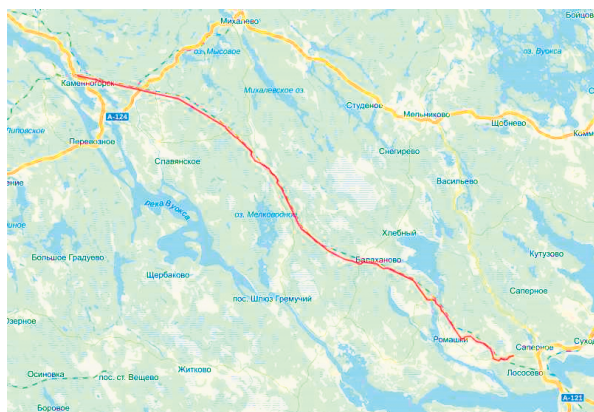


Рис. 1. Карта с нанесенной трассой ЛЭП

работы классическим геодезическим методом необходимо было оформить два договора аренды. Первый – на визирную просеку 0,7 м и второй – договор на всю охранную зону объекта. Из этого вытекает временная финансовая нерациональная составляющая.

Для решения задачи полевого трассирования трассы ЛЭП без пилки визирных просек авторами статьи на одном из объектов был применен комбинированный способ, сочетающий использование спутникового геодезического оборудования в режиме RTK и геодезической буссоли.

Проектируемая трасса ЛЭП проходит по Выборгскому району в направлении с юго-востока на северо-запад между населенными пунктами Саперное и Каменногорск (рис. 1).

Практика использования спутникового геодезического оборудования в условиях леса при выполнении инженерных изысканий для проектирования ЛЭП показывает, что с вероятностью, близкой к 100 %-ной, с частотой в среднем 200 м в режиме кинематики в реальном времени возможен вынос точки на створ трассы проектируемого линейного объекта. Таким образом, с шагом в среднем 200 м возможно закрепление часто используемой в этих целях маркерной лентой трассы ЛЭП отдельными точками без рубки створа. После чего задача полевого трассирования сводится к выносу стометровых (по 100 м в каждую сторону от закрепленных точек) фрагментов трассы между закрепленными точками. Для решения этой задачи применяется геодезическая буссоль.

Суть метода заключается в том, что для определения направлений проектируемых осей на местности используется вычисленный магнитный азимут и геодезическая буссоль вместо вычисленного дирекционного угла и оптического геодезического оборудования. Для позиционирования на линию в таком случае применяется спутниковое геодезическое оборудование. Перед началом работ производится калибровка необходимой территории для возможности работы спутниковым геодезическим оборудованием в местной системе координат (МСК). Далее в районе объекта на откры-

тых участках (по долготе) закрепляются пункты геодезической сети с четырьмя ориентирными направлениями, определяются их координаты в МСК и вычисляются дирекционные углы  $\alpha$ . Количество закрепляемых пунктов и длины участков зависят от расположения объекта и его протяженности. Данные четырех направлений между точкой и ориентирными пунктами должны быть порядка 300 м. После чего с пункта при помощи геодезической буссоли с точностью не хуже  $0,3^\circ$  определяются магнитные азимуты  $A_m$  в прямом и обратном направлении на ориентирные пункты. Далее определяется поправка направления (ПН) по формуле:

$$\pm \text{ПН} = \alpha - A_m.$$

Для устранения ошибок при определении величины и знака поправки направления нужно пользоваться схемой взаимного расположения направлений магнитного меридиана и вертикальной линии координатной сетки. Затем на каждом пункте вычисляется среднее значение ПН. Полученные значения ПН на каждом пункте будут различны, но их последовательное отличие будет величины порядка  $1,0^\circ$ , а их изменение будет линейно по долготе. На основании данных каталога вершин углов поворота проектируемых осей вычисляются дирекционные углы всех направлений, после чего рассчитываются магнитные азимуты по формуле:

$$A_m = \alpha - (\pm \text{ПН}).$$

При этом значения ПН по трассе интерполируются. Составляется ведомость магнитных азимутов с точностью до  $0,5^\circ$ .

Затем необходимо определить точность получения данного азимута. Положим, что среднее расстояние между деревьями составляет 2,0 м, тогда ошибка, с которой будет провязана маркерной лентой граница, по которой будет осуществляться в дальнейшем рубка охранной зоны, не должна превышать величины, указанной в [1]. Ошибка выноса отдельных точек по створу в режиме RTK выражается сантиметрами, поэтому ей можно пренебречь. Геодезическая буссоль Suunto KB-14, рекомендуемая авторами статьи для данного вида работ, имеет точность определения магнитного

азимута  $20'$  [4]. При длине линии в 100 м ошибка выноса с ее применением составит не более 0,5 м. Таким образом, для выноса линии, равной 100 м буссолью, с ошибкой не более 2,0 м потребуются составить таблицу магнитных азимутов, определенных с ошибкой не более  $1,0^\circ$ . Отсюда следует, что применение буссоли Suunto KB-14 для вычислений вполне допустимо.

На основании данного теоретического обоснования были начаты работы. Во-первых, перед их началом на основании рекогносцировки и картографических материалов масштаба 1 : 25 000 был получен каталог координат вершин углов поворота трассы ЛЭП в МСК. Далее была составлена ведомость дирекционных углов, задающая направления в МСК каждого участка трассы ЛЭП.

Для определения магнитных азимутов необходимо было определить отклонения магнитной стрелки от направления оси абсцисс МСК в начале трассы ( $B = 60,703^\circ$ ;  $L = 29,905^\circ$ ) согласно разработанному методу (рис. 2). На основании координат были вычислены дирекционные углы от опорной точки (т. 1) на каждое ориентирное направление (ОРП). После чего буссолью Suunto KB-14 были измерены магнитные азимуты тех же направлений в прямом и обратном направлениях (с т. 1 на каждое ОРП и с каждого ОРП на т. 1). На основании данных определений было получено три значения поправки направления, отличающихся один от другого на величину не более ошибки буссоли. За поправку направления ПН [2] было принято среднее значение, равное  $-9,9^\circ$  (знак минус указывает на необходимость дальнейшего вычитания ПН из значения дирекционных углов для получения магнитных азимутов).

После этого подобные наблюдения были выполнены в конце трассы ( $B = 60,942^\circ$ ;  $L = 29,270^\circ$ ). Значение ПН было определено в размере  $-13,0^\circ$ . Таким образом, разница между значениями ПН в начале и в конце объекта составила  $3,1^\circ$ . В связи с этим было принято решение об определении ПН еще на двух участках, делящих трассу примерно на три равных участка. Во второй точке от начала ( $B = 60,790^\circ$ ;  $L = 29,665^\circ$ ) значение

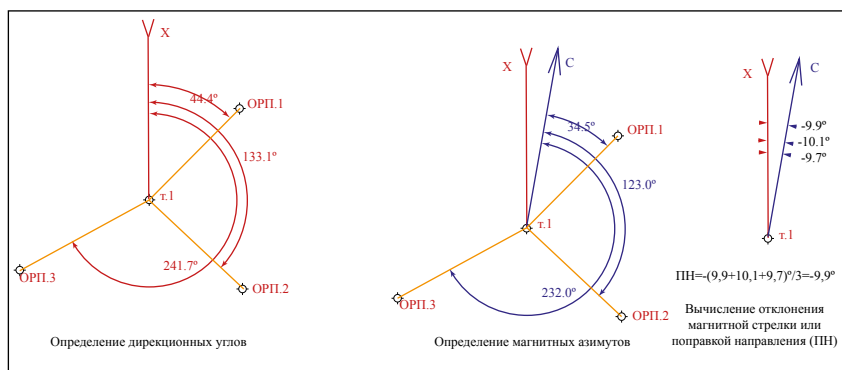


Рис. 2. Определение поправки направления

ПН было равно  $-11,0^\circ$ , в третьей точке от начала ( $B = 60,872^\circ$ ;  $L = 29,473^\circ$ ) оно составило  $-12,0^\circ$ . Следует отметить, что ноль после запятой является значащей цифрой. На основании полученных результатов применительно к данному объекту можно сказать о проявлении закономерности: увеличении значения ПН с востока на запад на  $1,0^\circ$  через каждые 10,8 км по ординате МСК. Полученные значения приведены в (табл. 1).

Таблица 1  
Значения поправок направления

Точка	Поправки направления (практически), $^\circ$	$dY$ , м МСК	$B$ , $^\circ$ WGS-84	$L$ , $^\circ$ WGS-84
1	-9,9	12,6	60,703	29,905
2	-11,0	10,3	60,790	29,665
3	-12,0	10,8	60,872	29,473
4	-13,0		60,942	29,270

На основании полученных значений таблица дирекционных углов была сведена к таблице магнитных азимутов, причем значения ПН были интерполированы на всю трассу с шагом в 2 км по ординате.

После получения данной таблицы авторы статьи приступили непосредственно к вынесу в натуру охранной зоны проектируемой ЛЭП на основании каталога координат вершин углов поворота при помощи спутникового геодезического оборудования и геодезическими буссолями Suunto KB-14. Протяженность трассы ЛЭП по данным изысканий составила около 62 км. Работы по отводу охранной зоны общей протяжен-

ностью 124 км были выполнены двумя геодезическими бригадами по три человека каждая за 20 рабочих дней. Следовательно, производительность метода составила около 3 км в день. На основании выполненной работы специалистами участковых лесничеств была све-

рена охранная зона трассы ЛЭП с планом трассы, разработанной на лесных планшетах. В результате выявились неточности отображения, которые были своевременно исправлены. Таким образом, дальнейшая работа по рубке просеки под строительство ЛЭП была выполнена в строгом соответствии с договором аренды лесных участков.

В ходе строительства опор геодезическим отделом строительного-монтажной организации была выполнена также съемка границ просеки. Данная съемка показала, что максимально отклонение границ просеки отличалось в среднем на 1,2 м при максимальном 1,8 м. Таким образом, поставленные задачи были достигнуты.

После получения результатов работ и их точностной оценки по данным съемки, авторы статьи заинтересовались возможностью использования международной модели главного магнитного поля Земли IGRF-11 [3] для целей нахождения поправок направления на различные районы работ. На основании значений широт и долгот (см. табл. 1) были вычислены магнитные склонения на дату проведения работ по последней версии IGRF (12-е поколение, переработанное в 2014 г.). Для этого использовали официальный калькулятор IGRF, представленный британской геологической службой на сайте [5]. После расчета магнитных склонений к меридианам WGS-84 на основании калибровки района работ они были сведены к поправкам направлений координатной сетки МСК.

Были получены следующие результаты (табл. 2).

На основании сопоставления значений ПН, вычисленных из наблюдений и полученных из вычислений по модели главного



Таблица 2

## Значения магнитных склонений к меридианам WGS-84 и поправок направлений к МСК

Точка	$\delta$ (теоретически), °	$\alpha - A$ , °	Поправки направлений (теоретически), °	$B$ , °	$L$ , °
1	10,16	0,91	-11,07	60,703	29,905
2	10,10	1,12	-11,22	60,790	29,665
3	10,06	1,29	-11,35	60,872	29,473
4	10,09	1,47	-11,56	60,942	29,270

магнитного поля Земли, видно, что использование модели ITRF для нужд полевого трассирования невозможно вследствие сильных отклонений в значениях (применительно к рассматриваемому району работ до 1,5°). Тем не менее, в целях грубой оценки значения ПН такое применение возможно.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинин Н. Ф., Казанцев М. Л. Изыскания трасс воздушных линий электропередачи. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 247 с.
2. Николаев А. С. Военная топография. – М.: Воениздат, 1977. – 332 с.
3. Описание международного геомагнитного аналитического поля (IGRF): <http://serv.izmiran.ru/webff/igrf.pdf>.

4. Официальный веб-сайт фирмы Suunto: <http://www.suunto.com/ru-RU/Products/compasses/Suunto-KB-14/Suunto-KB-14360R-G/>.

5. Синтез форма IGRF (12-е поколение, переработанное, 2014) Британской геологической службы: [http://www.geomag.bgs.ac.uk/data\\_service/models\\_compass/igrf\\_form.shtml](http://www.geomag.bgs.ac.uk/data_service/models_compass/igrf_form.shtml).

## Summary

There is a possibility of using the local magnetic field of the Earth in field tracing linear objects in the course of engineering survey. You can find the results of the field of tracing in the Saint-Petersburg region, which are projected by Electricity Transmission Line 110 kV using the local magnetic azimuth direction angle instead of the local coordinate system. There is a possibility of appraisal of using these works for an international model of the main magnetic field of the Earth IGRF-11 on the basis of the results obtained. ■

УДК 528.48: 621. 646+528.721.221.6

## Об учете погрешностей геодезического обеспечения при строительстве, мониторинге и предрасчетах деформаций трубопроводов

© <sup>1</sup>Биндер И. О., <sup>2</sup>Мурзинцев П. П., 2015

<sup>1</sup>ОАО «Сибирский научно-исследовательский институт нефтяной промышленности», департамент инженерных изысканий, г. Тюмень  
[binder@sibniinp.ru](mailto:binder@sibniinp.ru)

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий», г. Новосибирск  
[petermur329@inbox.ru](mailto:petermur329@inbox.ru)

*Предлагается на этапе инженерных изысканий при выполнении прогнозных расчетов деформаций трубопроводов на вечномерзлотных грунтах учитывать погрешности геодезического обеспечения и георадарных обследований.*

*Возможные деформации, ослабление влияния вечной мерзлоты, погрешности геодезического обеспечения строительства.*

*Possible deformation, weakening of the influence of permafrost, errors of geodetic support of construction.*